# Die Bedeutung der Enchytraeiden für die Humusbildung.

Von Dr. G. Jegen.

(Aus der schweizerischen Versuchsanstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau in Wädenswil.)

Unter dem Einfluß von klimatischen Faktoren einerseits und anderseits herbeigeführt durch eine Welt von pflanzlichen und tierischen Mikroorganismen, vollzieht sich in der Erde ein für die Landwirtschaft fundamentaler Vorgang. Es ist dies die Verarbeitung organischer Erdbestandteile zu Humus. Je höher der Gehalt an Humus in einem in Kultur zu nehmenden Boden ist, desto besser ist er vorbereitet und desto höhere Erträge kann er liefern.

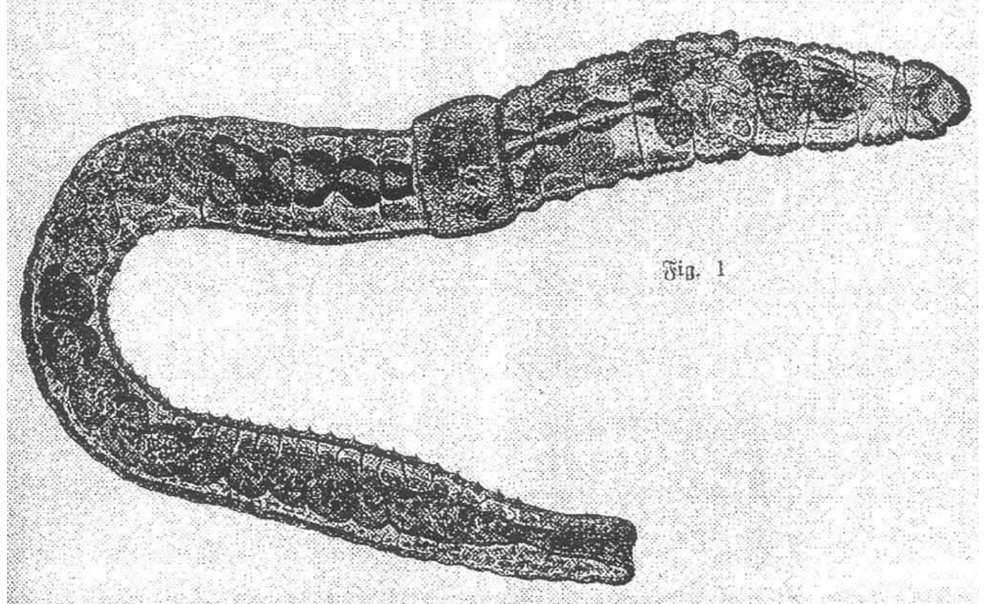


Fig. 1

Ueber das Wesen und die Ursachen dieser für uns äußerst wichtigen Vorgänge ist schon vieles bekannt geworden. So ist man z. B. über den Einfluß gewisser Bakterien in der Erde durch ausgedehnte Untersuchungen orientiert. Die tierische Fauna der Erde ist hingegen nach dieser Richtung hin wenig beachtet worden. Wir kennen eigentlich nur die Arbeiten über die Tätigkeit des Regenwurms im Boden. Was über andere tierische Erdbewohner bemerkt wird, das sind vielfach nur Vermutungen, die mehr theoretischen Erwägungen entsprangen. Es muß nun allerdings zugegeben werden, daß die Erde für die erforderlichen Versuche recht ungünstig ist, besonders dann, wenn es sich um kleine tierische Lebewesen handelt.

Die ausführliche Arbeit über die Bedeutung der Enchytraeiden für die Humusbildung wurde in der Vierteljahrsschrift der Zürcher Naturforschenden Gesellschaft, Heft 1 und 2, Jahr 1920 veröffentlicht. Hier wollen wir versuchen,

diejenigen Resultate der Arbeit zusammenzufassen, die für die Landwirtschaft von besonderm Interesse sind.

Es ist bekannt, daß gewisse Nematoden, kleine bis 1 Millimeter lange Würmchen, recht gefährliche Pflanzenschädlinge darstellen. Die von den Nematoden befallenen Pflanzen bezeichnet man als nematodenkrank.

Eine andere Gruppe von Würmern, die in der Erde in großer Zahl anzutreffen ist, und deren Vertreter teilweise auch als Schädlinge bezeichnet werden, bilden die Enchytraeiden (Fig. 1). Es sind kleine, in den meisten Fällen die Länge von 1 Millimeter kaum übersteigende Würmchen, die der Gruppe der Oligochaeten, deren bekanntester Vertreter der Regenwurm ist, angehören. Die Folgen ihrer Tätigkeit auf die nächste Umgebung, hauptsächlich auf die organischen Stoffe im Boden, sind noch äußerst wenig bekannt. Nun haben aber gewisse Beobachtungen und Voruntersuchungen dargetan, daß die Enchytraeiden im Boden durch ihre Lebenstätigkeit Kräfte auslösen, die für die Landwirtschaft, d. h. für die Bodenbebauung von entscheidender Bedeutung sind. Es läßt sich aus diesem Grunde wohl rechtfertigen, wenn wir den Gegenstand einer eingehenden Untersuchung unterzogen haben.

## I. Beziehungen zwischen Enchytraeiden und Nematoden.

Die Untersuchung nematodenkranker Erdbeerpflanzen hat dargetan, daß in gewissen Fällen neben den bekannten Nematoden auch Enchytraeiden in den erkrankten Geweben auftreten. In welcher Weise sich das Zusammenleben der beiden Organismen äußert, sollte durch zahlreiche Versuche mit nematodenkranken Pflanzen ermittelt werden. Jede der zum Versuch benutzten Pflanze enthielt Nematoden und Enchytraeiden. Die einzeln in Töpfen gehaltenen Pflanzen werden von Zeit zu Zeit kontrolliert, und zwar:

1. auf ihr Aussehen;
2. auf die Anwesenheit von Nematoden;
3. auf die Anwesenheit von Enchytraeiden.

Sämtliche Versuchspflanzen wurden in vier Gruppen, die sich durch die dargereichten Lebensbedingungen (Luft, Ernährung) unterscheiden, eingeteilt. Die folgende Tabelle orientiert uns über die Versuche und deren Resultate.

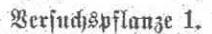
| Versuchspflanze | Kontrolle | Krankheitssymptome | Nematoden | Enchytraeiden |
|---|---|---|---|---|
| Nr. 1 | I | Blätter und Stengel zeigen noch schwach sichtbare Spuren der Krankheit. Neue Stockausschläge zahlreich | Zahlenmäßig in starkem Rückgang begriffen | Werden häufiger, größere Exemplare zwischen den Nebenwurzeln und kleinere unter der Epidermis bei den Nematoden |
| | II | Die Pflanze nimmt immer mehr ein gesundes kräftiges Aussehen an | Nahezu verschwunden | Bedeutend zahlreicher |
| | III | Pflanze normal | Nicht mehr aufzufinden | Sehr zahlreich zwischen den Wurzeln |
| | IV | Pflanze normal | Nicht mehr vorhanden | Nur mehr zwischen den Wurzeln |

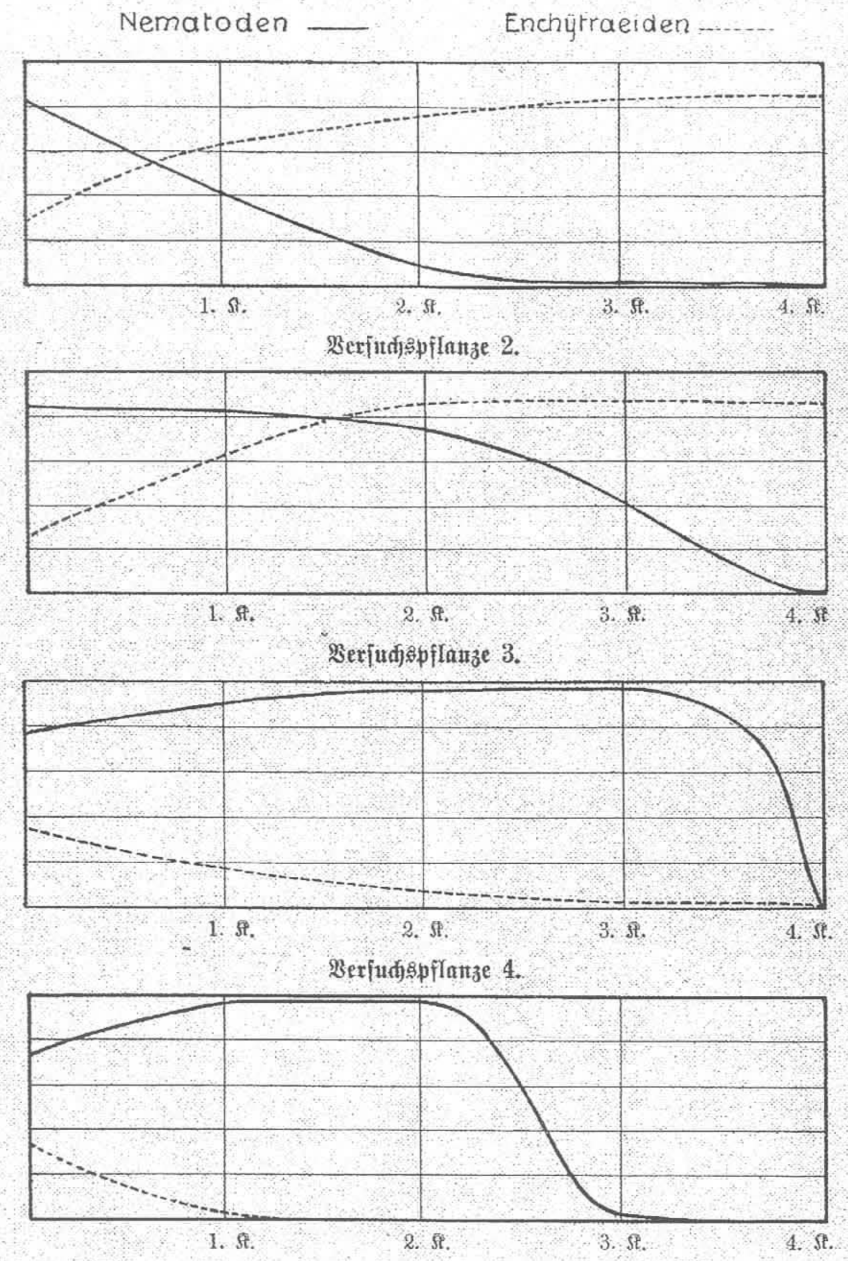
| Versuchs-pflanze | Kontrolle | Krankheitssymptome | Nematoden | Enchytraeiden |
|---|---|---|---|---|
| Nr. 2 | I | Blätter und Stengel zeigen die Krankheit wie zu Beginn des Experimentes | Zahlreich | Vorhanden; unter der Epidermis aber äußerst selten |
| | II | Die Pflanze hat die Krankheitsmerkmale etwas verloren | Nehmen ab | Werden häufiger, namentlich im Stengelgewebe |
| | III | Die Pflanze darf fast als normal bezeichnet werden | Nur selten mehr | Häufig, im Stengelgewebe und zwischen den Wurzeln |
| | IV | Die Pflanze ist normal | Verschwunden | Häufig |
| Nr. 3 | I | Die Krankheit hat zugenommen | Sind in großer Zahl vorhanden | Einzeln zwischen den Wurzeln |
| | II | Die Krankheit nimmt zu | Werden zahlreicher | Selten |
| | III | Wie bei II | Nehmen stark zu | Selten |
| | IV | Die Pflanze ist im Absterben | Sehr zahlreich | Aeußerst selten |
| Nr. 4 | I | Stark sichtbar | Stark zunehmend | Stark abgenommen |
| | II | Einzelne ältere Triebe gehen ein | Wie bei I | Verschwunden |
| | III | Viele Triebe sind abgestorben | In den noch nicht abgegangenen Teilen äußerst zahlreich | Wie bei II |
| | IV | Pflanze abgestorben | — | — |

Bei den Versuchspflanzen der Gruppe 1 und 2 können wir konstatieren, daß die Krankheit bei der vierten Kontrolle nicht mehr wahrzunehmen ist. Die Nematoden nehmen dabei von Kontrolle zu Kontrolle ab und sind bei den völlig erholten Pflanzen verschwunden. Die Enchytraeiden zeigen ein entgegengesetztes Verhalten, indem sie vom Beginne des Versuches bis zur Genesung der Pflanze beständig zunehmen. Zudem ist hervorzuheben, daß sie, je weiter die Gesundung der Pflanze fortschreitet, um so zahlreicher in der Umgebung des Wurzelwerkes erscheinen, während die frühern Aufenthaltsorte im Gewebe der Pflanzen verlassen werden.

Im Gegensatz zum Verhalten der Versuchspflanzen 1 und 2 steht dasjenige von 3 und 4. Die Krankheitsmerkmale nehmen beständig zu, und nach Ablauf von vier Wochen sind die Pflanzen im Absterben, oder sie sind schon zuvor eingegangen. Die Nematoden vermehren sich vom Beginne des Versuches beständig. Die Enchytraeiden hingegen vermögen sich nicht zu halten. Sie verschwinden in manchen Fällen schon vor dem Absterben der Wirtspflanze.

Das Verhalten der beiden tierischen Bewohner der Versuchspflanzen wird durch die beigegebenen Kurven besonders gut veranschaulicht.




Es geht aus allen Versuchen deutlich hervor, daß mit zunehmender Erkrankung der Versuchspflanzen

a) die Nematoden zahlenmäßig zunehmen;
b) die Enchytraeiden zahlenmäßig abnehmen.

In jenen Fällen, wo die Versuchspflanzen sich im Laufe der Versuchszeit erholen, sind:

a) die Nematoden beständig im Rückgang;

b) die Enchytraeiden in lebhafter Vermehrung.

Es darf also aus den wahrgenommenen Erscheinungen geschlossen werden, daß zwischen den beiden Bewohnern der erkrankten Pflanzen gewisse Beziehungen vorhanden sind. Sie äußern sich derart, daß bei zunehmender Enchytraeidenzahl die Nematoden abnehmen. Bei allzugroßer Bevölkerung durch die Nematoden, vermögen sich die Enchytraeiden nicht mehr zu behaupten.

Im weitern ist ersichtlich, daß die Gesundung der Pflanze dann eintritt, wenn:

a) die Nematoden abnehmen;

b) die Enchytraeiden zahlreicher werden, namentlich im Bereiche der Wurzeln.

Daraus darf nun geschlossen werden, daß die Ursache zur Erkrankung der Pflanzen bei den Nematoden zu suchen ist, während die Enchytraeiden durch ihr zahlreiches Auftreten die Nematoden offenbar zum Rückzug zwingen. Letzteres hat dann in manchen Fällen eine Gesundung der Pflanzen im Gefolge, nämlich dann, wenn die Krankheit eine bestimmte Ausdehnung noch nicht überschritten hat.

In bezug auf die Kurven ist zu bemerken, daß bei den Versuchspflanzen 1 und 2 sich die beiden Kurven kreuzen. Das kann nur geschehen, wenn die Bevölkerungsdichte der beiden Bewohner, die auf der senkrechten Linie in fünf Abstufungen aufgetragen ist, sich nach entgegengesetzter Richtung bewegt. Der Kreuzungspunkt der Kurven ist offenbar jener Moment, wo in den Versuchspflanzen die beiden Tierformen in gleicher Stärke vertreten sind. In bezug auf die Wirtspflanze nehmen wir wahr, daß sie sich von diesem Momente an zu erholen beginnt. Je weiter diese Kreuzungsstelle nach dem Ende des Kurvenbildes (4. K.) verschoben wird, desto später tritt eine Erholung der Pflanze ein. Liegt er über der Mitte, so gehen die Pflanzen ein. In Gruppe 3 liegt der Kreuzungspunkt am Ende der Versuchszeit. Die Pflanzen leiden unter den Einwirkungen der Parasiten in der zweiten Hälfte stark und sterben in der vierten Woche ab. In der Gruppe 4 ist kein Kreuzungspunkt mehr vorhanden. Die Versuchspflanzen sind schon im Laufe der Versuchszeit abgestorben.

Die Enchytraeiden sind also imstande, die krankheitserregenden Nematoden in ihrer Ausbreitung zu hemmen und dadurch erkrankte Pflanzen wieder zu voller Entwicklung zu bringen. Dabei ist festzuhalten, daß dies nur dann geschehen kann, wenn die Nematoden noch nicht zu zahlreich sind und die Krankheit infolgedessen eine bestimmte Grenze nicht erreicht hat.

Wollen wir uns über die Art der erkannten Beziehungen genauer orientieren, so geht aus den bezüglichen Untersuchungen hervor, daß die geschlechtsreife Form der Enchytraeiden (Fig. 1) und die Jugendform (Fig. 2) in ihren Lebensäußerungen stark von einander abweichen. Die erwachsenen geschlechtsreifen Tiere finden wir fast ausschließlich in der Erde zwischen dem Wurzelwerk, wo sie dem Fortpflanzungsgeschäft obliegen. Von einer der Pflanze schädlichen Tätigkeit kann auf dieser Lebensstufe nicht gesprochen werden.

Ganz anders verhalten sich in biologischer Hinsicht die Enchytraeiden in ihrer Jugend. Sie besitzen (Fig. 2) einen fadenförmigen, äußerst beweglichen und schmiegsamen Körper, der es ihnen gestattet, selbst in den engsten Räumen pflanzlicher Gewebe die Nahrung aufzusuchen. Dabei ist es wichtig, festzustellen, daß die jungen Enchytraeiden hauptsächlich jene Stellen aufsuchen, die von Nematoden bewohnt werden. Es läßt sich in günstigen Fällen wahrnehmen, daß, sobald genügend Enchytraeiden vorhanden sind, die Nematoden abzusterben und zum Teil

auszuwandern beginnen. Ihr Körper löst sich in eine schleimige Masse auf, die scheinbar von den jungen Enchytraeiden als Nahrung aufgenommen wird. Wie weiter unten ausgeführt wird, vermögen die aus den Speicheldrüsen (Fig. 3) abgesonderten Säfte die Nematoden abzutöten oder doch aus den Geweben zu vertreiben.

In bezug auf die Feststellung der Krankheitsursache bei den Versuchspflanzen kommen wir zum Schlusse, daß die Nematoden **primär** den Anstoß geben. Die Enchytraeiden wirken in allen jenen Fällen, wo die Krankheit noch nicht zu weit fortgeschritten ist, dem Prozeß entgegen. Wenn aber die Krankheit eine bestimmte

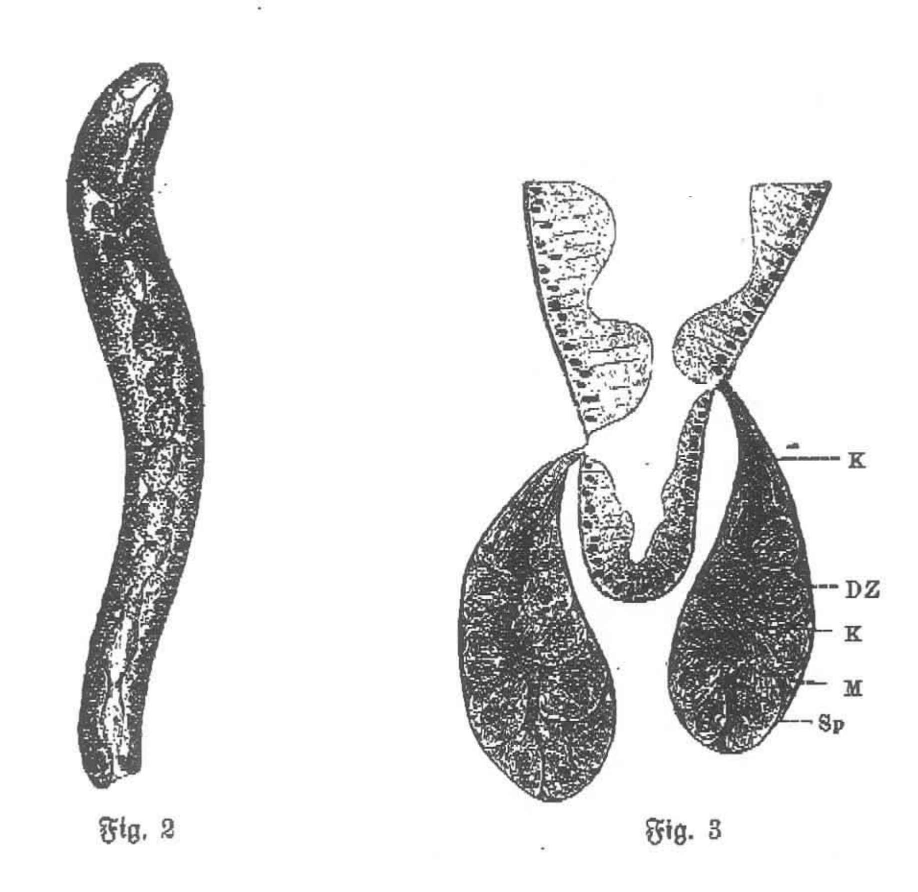



Fig. 2 Fig. 3

Grenze erreicht hat, vermögen die Enchytraeiden auch keine Gesundung der Pflanze mehr herbeizuführen. In allen diesen Fällen wird der Prozeß der Auflösung durch die **sekundär** hinzutretenden Enchytraeiden beschleunigt.

Zu ähnlichen Resultaten führten gewisse Beobachtungen an Amaryllis-Knollen. Als primäre Schädiger waren hier die Larven einer Fliege (Hylemyia antiqua) festzustellen. Sie haben in den Knollen nach allen Richtungen Gänge gebohrt, und verlassen ihren Aufenthaltsort, um sich in der umliegenden Erde zu verpuppen. Durch diese offene Pforte wandern nachträglich jedenfalls die Enchytraeiden in die beschädigten Knollen. Sie vermehren sich in diesen geschützten Lokalitäten sehr rasch und führen das Knollengewebe im Verein mit zahllosen Mikroorganismen in rasche Zersetzung über. Sobald die Gewebe ganz in Fäulnis übergetreten sind, wandern die Enchytraeiden aus, um frische Plätze aufzusuchen.

Ebenso haben Beobachtungen an Kartoffelpflanzen gezeigt, daß die primäre Beschädigung von den Larven gewisser Schnellkäfer (Drahtwürmer) ausgeht. Die Enchytraeiden treten auch hier später auf und vermögen dann den Zersetzungsprozeß stark zu beschleunigen.

## II. Infektions-Versuche.

Nachdem es möglich war, auf Grund von eingehenden Beobachtungen in gewisse Beziehungen der Enchytraeiden zu den Nematoden und zur Pflanzenwelt Einsicht zu gewinnen, lag es nahe, diese Erkenntnis noch zu vertiefen durch künstlich eingeleitete Versuche, sog. Infektionsversuche.

Zu diesem Zwecke wurden wieder nematodenkranke Pflanzen verwendet. Anderseits aber mußte jede einzelne Pflanze vor Beginn des Experimentes als enchytraeidenfrei sicher erkannt sein, da durch Zusatz einer möglichst gleich großen Menge von Würmern deren Wirkung auf die Nematoden und die Wirtspflanzen beobachtet werden sollte. Daneben wurden für jede Gruppe Kontrollpflanzen, die ohne Enchytraeidenzusatz blieben, gehalten.

### Versuchsreihe A.

#### 1. Infektions-Versuch.

| Befund vor der Infektion | Befund nach der Infektion | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1. Woche | 2. Woche | 3. Woche | 4. Woche |
| Die Zahl der vorhandenen Nematoden ist eine relativ kleine, die äußern Krankheitserscheinungen kaum merklich. Die Pflanzen sind also durchwegs von gesundem Aussehen | Die Pflanzen gedeihen normal | Die Krankheitsmerkmale verschwinden | Die Pflanzen erscheinen völlig gesund | Die Pflanzen sind gesund |
| | Die Nematoden werden zahlreicher | Die Nematoden wie in Woche 1 | Nematoden nehmen ab | Nematoden fast verschwunden |
| | Enchytraeiden vereinzelt an den Wurzeln | Enchytraeiden vermehren sich stark | Enchytraeiden dringen zu den Nematoden vor | Enchytraeiden nehmen zu |

#### 1. Kontroll-Versuch.

| 1. Woche | 2. Woche | 3. Woche | 4. Woche |
|---|---|---|---|
| Die Pflanzen scheinen stärker krank zu werden | Pflanzen stark angegriffen | Krankheit tritt stark hervor | 8 Pflanzen abgestorben, 5 nach 1—2 Wochen ebenfalls |
| Nematoden werden zahlreicher | Nematoden nehmen zu | Nematoden breiten sich aus | — |

Die in Reihe A verwendeten Pflanzen zeigen beim Beginne des Versuches geringe Spuren der Krankheit und enthalten demzufolge relativ wenig Nematoden. Im Laufe der Versuchszeit verschwinden die den Pflanzen anfänglich anhaftenden Krankheitsspuren, so daß sie in der dritten Woche schon als gesund bezeichnet werden können.

Die Nematoden beginnen sich in der ersten Versuchswoche auszudehnen, werden aber durch die beim Beginne zugesetzten Enchytraeiden, die sich rasch vermehren, an der Ausbreitung verhindert und in der dritten und vierten Woche geradezu zum Verschwinden gebracht. Wir können wahrnehmen, daß die Enchytraeiden sich zunächst an das Wurzelwerk der Pflanzen begeben, wo sie sich stark vermehren. Die

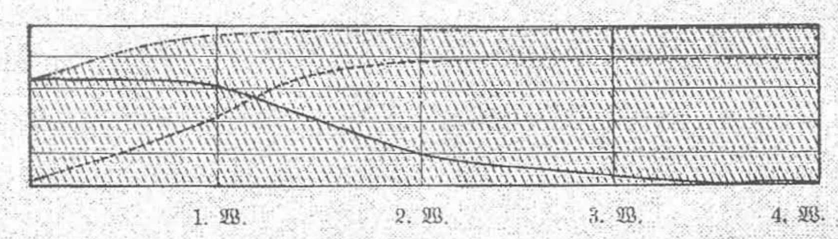
junge Generation sucht nun aber jene Pflanzenteile auf, wo die Nematoden durch ihre Tätigkeit schon mehr oder weniger geschadet haben.

Die Kontrollpflanzen, die unter gleichen äußern Bedingungen gehalten werden, aber keine Enchytraeiden zugesetzt erhalten, erliegen der durch die Nematoden verursachten Beschädigung.

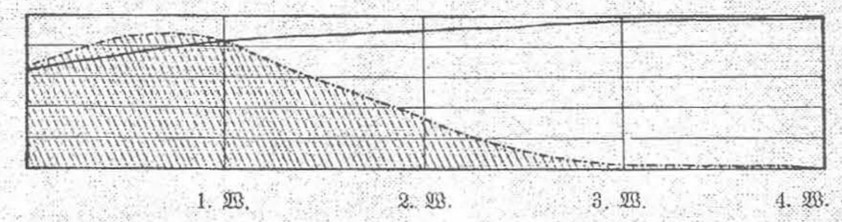
Besonders deutlich wird das Verhalten der Nematoden, sowie der Pflanze unter der Wirkung der Enchytraeiden durch folgende Kurvenbilder zur Anschauung gebracht.

Die schwarz ausgezogene Kurve stellt das Verhalten, d. h. die Zu- resp. Abnahme der Nematoden auf der Wirtspflanze dar, die punktierte Kurve in gleicher Weise die Verhältnisse bei den Enchytraeiden. Die gestrichelte Fläche soll uns Auskunft geben über das Gedeihen der Pflanze.

**1. Infektions-Kurve.**




**1. Kontroll-Kurve.**




Die Gesundheit der Pflanze nimmt vom Beginne des Versuches zu, und zwar:

a) mit zunehmender Enchydraeidenzahl;
b) mit abnehmender Nematodenzahl.

Beim Kontroll-Versuch zeigt es sich, daß die Kurve für das Gedeihen der Pflanze sinkt, während die Nematodenkurve steigt, was uns andeutet, daß bei steigender Nematodenzahl die Pflanze immer stärker krank wird.

Das Resultat dieser ersten Infektionsversuche läßt sich folgendermaßen zusammenfassen:

*Durch Zusatz von Enchytraeiden konnte bei nematodenkranken Pflanzen eine völlige Gesundung herbeigeführt werden. Ohne den genannten Zusatz gingen sämtliche Versuchspflanzen unter der Einwirkung der Nematoden ein.*

Die zweite Versuchsreihe charakterisiert sich dadurch, daß die Krankheitserscheinungen am Ausgange des Versuches schon bedeutend deutlicher zu Tage treten als bei der ersten Gruppe.

## Versuchsreihe B.

### 2. Infektions-Versuch.

| Befund vor der Infektion | Befund nach der Infektion | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1. Woche | 2. Woche | 3. Woche | 4. Woche |
| Die Nematoden sind stark vertreten<br>Die äußern Krankheitserscheinungen sind deutlich sichtbar | Die Versuchspflanzen sind ungefähr gleich aussehend wie am Anfang | Die Pflanzen scheinen sich etwas zu erholen | Die Pflanzen gelangen noch nicht zur vollen Entwicklung | Die Pflanzen werden eher kränklicher |
| | Die Nematoden in annähernd gleicher Zahl wie anfänglich | Die Nematoden nehmen ab | Wenig Nematoden vorhanden | Keine Nematoden mehr |
| | Die Enchytraeiden vermehren sich stark und treten an die Wurzeln heran | Die Enchytraeiden vermehren sich weiter und werden an den Wurzeln zahlreicher | Enchytraeiden äußerst zahlreich | Enchytraeiden wie in der 3. Woche |

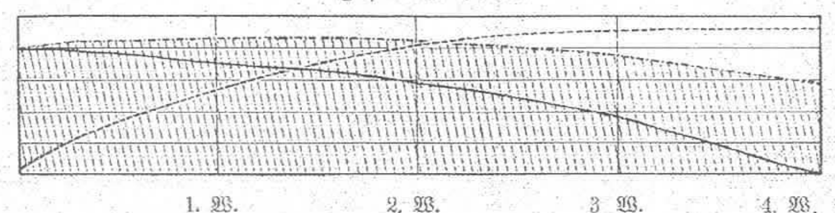
### 2. Kontroll-Versuch.

| 1. Woche | 2. Woche | 3. Woche | 4. Woche |
|---|---|---|---|
| Die Krankheit der Pflanze ist deutlich sichtbar | Die Pflanzen scheinen kränker zu werden | Die Pflanzen beginnen zu welken | Pflanzen sterben ab |
| Die Nematoden sind relativ zahlreich | Die Nematoden nehmen zu | Nematoden äußerst zahlreich | Nematoden wie in der 3. Woche |

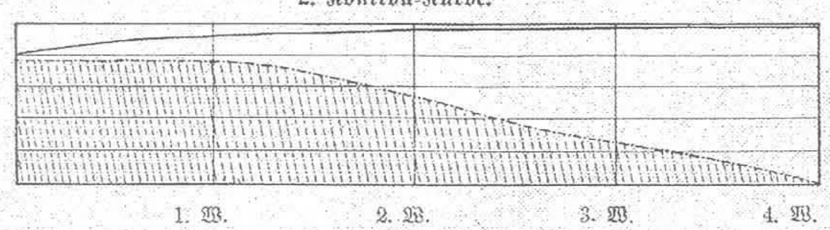
Der Verlauf der Versuche ist anfänglich ein ähnlicher wie in der ersten Gruppe. Dagegen macht sich in der dritten und vierten Woche eine Erscheinung bemerkbar, die dem Resultat des Versuches eine etwas andere Bedeutung zu geben scheint. Statt daß gegen Ende des Versuches, wo die Enchytraeiden zur maximalen Entfaltung gelangt sind, die Pflanzen ihr normales Aussehen wieder gewinnen, vermögen sie sich diesmal nicht mehr voll zu entwickeln. Also bleibt trotz Beseitigung der Krankheitsursache (Nematoden) die Krankheit in gewissem Grade bestehen, ja sie wird am Ende der vierten Woche wirksamer, so daß die Pflanzen in der sechsten Woche eingehen.

Die Erklärung zu diesem Verhalten erlangen wir durch mikroskopische Untersuchungen. Wir können nämlich konstatieren, daß der pflanzliche Organismus durch die Einwirkung der Nematoden an den Wurzeln und Stengeln schon von vornherein stark beschädigt ist, so daß die hinzutretenden Enchytraeiden den schon begonnenen Zersetzungsprozeß nicht mehr aufzuheben vermögen, vielmehr denselben noch beschleunigen.

2. Infektions-Kurve.




2. Kontroll-Kurve.




Das Ergebnis der zweiten Infektionsversuche kann im Folgenden kurz festgelegt werden:

Da die Beschädigungen durch die Nematoden schon eine gewisse Höhe erreicht haben, vermögen die neu hinzutretenden Enchytraeiden wohl den primären Krankheitsurheber zu bekämpfen; die Krankheit der Wirtspflanze nimmt aber ihren weitern Verlauf, weil schon sekundär eingewanderte Lebewesen (Bakterien etc.) die beschädigten Stellen in Fäulnis überführen.

Für die dritte Versuchsreihe werden nun Pflanzen verwendet, bei denen die Merkmale der Nematodenkrankheit recht auffällig sind. Die Urheber (Nematoden) selbst sind beim Ausgang des Versuches in großer Zahl vorhanden.

## Versuchsreihe C.

### 3. Infektions-Versuch.

| Befund vor der Infektion | Befund nach der Infektion | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1. Woche | 2. Woche | 3. Woche | 4. Woche |
| Die Nematoden sind stark vertreten<br>Die Pflanzen sind stark krank | Aussehen der Pflanzen gleich wie im Anfang | Die Pflanzen neigen zum Welken | Die Pflanzen sind dem Absterben nahe | Die Pflanzen sind abgestorben |
| | Die Nematoden sind in gleicher Zahl wie anfänglich vorhanden | Die Nematoden nehmen ab | Die Nematoden sind fast verschwunden | Keine Nematoden |
| | Die Enchytraeiden beginnen sich zu entwickeln | Die Enchytraeiden vermehren sich stark und treten an die Wurzeln heran | Enchytraeiden zahlreich | Enchytraeiden wandern aus den zersetzten Pflanzenteilen auch aus |

### 3. Kontroll-Versuch.

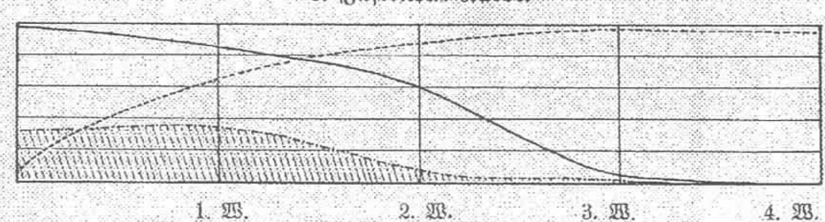
| 1. Woche | 2. Woche | 3. Woche | 4. Woche |
|---|---|---|---|
| Die Pflanzen sind stark krank<br>Die Nematoden sind zahlreich | Die Pflanzen sind dem Absterben nahe<br>Nematoden vermehren sich stark | Die Pflanzen wie in der 2. Woche<br>Nematoden wandern aus | Die Pflanzen sind abgestorben<br>— |

Die Versuchspflanzen sind beim Beginn des Experimentes stark krank und enthalten durchwegs große Mengen von Nematoden. Nachdem aber die zugesetzten Enchytraeiden sich zu vermehren beginnen, werden die Nematoden schon in der zweiten Woche stark in Mitleidenschaft gezogen. Sie sterben zum Teil schon in der dritten Woche ab.

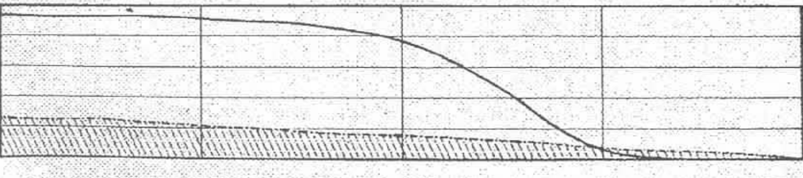
Bei den Kontrollpflanzen vollzieht sich der Prozeß nicht so rasch, trotzdem dort die Nematoden durch keine Enchytraeiden beeinflußt wurden. Es kann diese Erscheinung nur erklärt werden, wenn wir annehmen, daß durch die Nematoden schon anfänglich die Krankheit derart gefördert war, daß die Enchytraeiden den Prozeß nicht mehr rückgängig zu machen vermochten. Ihre Tätigkeit hat zwar auf die Krankheitsurheber im günstigen Sinne eingewirkt, anderseits aber die Zersetzung des durch die Nematoden stark beschädigten Gewebes direkt befördert. Diese Erklärung der Erscheinung wird gestützt durch die mikroskopische Untersuchung. Bei den Kontrollpflanzen nehmen wir wahr, daß das Wurzelgewebe, sowie die Leitgewebe des Stengels weitgehend deformiert sind. Die Pflanzen der Infektionsversuche hingegen weisen nicht nur deformierte Stellen auf, vielmehr befinden sich bei ihnen gewisse Partien in Zersetzung. Daraus geht wieder hervor, daß die Enchytraeiden unter bestimmten Umständen den Krankheitsprozeß befördern.

Die beigefügten Kurven veranschaulichen uns die beschriebenen Erscheinungen. Zugleich ist auch ersichtlich, daß die Nematoden die Pflanze vor dem Absterben verlassen, und ebenso räumen auch die Enchytraeiden das Feld, sobald der Fäulnisprozeß in Gang gesetzt ist.

### 3. Infektions-Kurve.




### 3. Kontroll-Kurve.



Zusammenfassend geht aus den Infektionsversuchen folgendes hervor:

1. Die zur Untersuchung gelangten Enchytraeiden können unter bestimmten Umständen als Feinde parasitierender Nematoden gelten. Sie sind imstande, Pflanzen, die eine bestimmte Grenze der durch die Nematoden verursachten Krankheit noch nicht überschritten haben, wieder zur vollen Gesundheit zurückzuführen.

2. Die Enchytraeiden wirken aber auf alle Pflanzenteile, die schon in erheblichem Maße durch die Nematoden geschädigt sind, zersetzend und beschleunigen so den von letztern eingeleiteten Prozeß.

## III. Bedeutung der Enchytraeiden für die Humusbildung.

Es ist nun zur Entscheidung der gestellten Hauptfrage von Wichtigkeit, zu erfahren, welche Faktoren auf eine reichliche Entwicklung der Enchytraeiden in der Erde von Einfluß sind. Hierin hat sich ergeben, daß besonders zwei Umstände von Bedeutung sind, nämlich:

1. Die physikalische Beschaffenheit des Boden (Luft, Licht, Feuchtigkeit).
2. Die Zusammensetzung des Bodens.

Gegen Trockenheit sind die Enchytraeiden äußerst empfindlich, sogar empfindlicher als die zarten Nematoden. Die Ausbreitung der Enchytraeiden in trockenen Böden geht daher recht langsam vor sich. Wenn nun trockene Witterungsperioden auf die Entwicklung der Würmer im Boden nachteilig einwirken, so haben wir erfahren, daß sie sich in weitgehendem Maße gegen solche schädigende Einflüsse zu schützen vermögen. Das wird durch verschiedene Umstände ermöglicht, und zwar:

a) Durch die Fähigkeit der einzelnen Bodenarten, die Feuchtigkeit längere Zeit zurückzuhalten, d. h. die bei feuchter Witterung aufgenommene Wassermenge nur langsam abzugeben. Es ist dies insofern von Bedeutung, weil es also Bodenarten gibt, die von Natur aus befähigt sind, das tierische Leben bis zu einem bestimmten Grade gegen gefährliche Witterungseinflüsse zu schützen. Kiesige und leicht sandige Böden sind zu schnell ausgetrocknet, als daß sich darin im allgemeinen eine reiche Enchytraeidenfauna ansammeln könnte.

b) Durch die Fähigkeit der Enchytraeiden, sich bei anhaltender Trockenheit tiefer in die Erde zurückzuziehen. Es hat sich gezeigt, daß die empfindlichen Würmer beim Eintritt trockener Witterung in die Tiefe wandern, wo sie noch längere Zeit die nötige Feuchtigkeit vorfinden.

c) Durch die Bildung von Dauer-Eiern. Es kann nun vorkommen, daß auch die feuchtigkeitsbeständigsten Böden stark austrocknen, und zwar bis zu einer Tiefe, die die Enchytraeiden nicht mehr zu erreichen vermögen. Dadurch müßten die Enchytraeiden trotz der genannten Vorkehren doch zugrunde gehen. Aber auch einer solchen Konsequenz schädlich wirkender Einflüsse stehen die Enchytraeiden nicht wehrlos gegenüber. Sie befinden sich im allgemeinen während des ganzen Jahres im Zustande der Fortpflanzungstätigkeit. Um aber gegen eine zu intensive Trockenheit in ihrem Bestande geschützt zu sein, werden die Eier je nach dem Grad der herrschenden Trockenheit in verschiedener Weise abgelegt.

1. Bei genügender Feuchtigkeit (namentlich im Herbst, Winter und Frühjahr) können wir feststellen, daß die Eier e i n z e l n in die Erde abgelegt werden (Fig. 4).

2. Bei intensiver Austrocknung (hauptsächlich im Sommer) der obersten Erdschichten beginnen die Enchytraeiden ihre Eier zu 4—12 zusammen in Form von sogenannten Eikokons der Erde zu übergeben (Fig. 5). Obwohl die Elterntiere den Zeiten starker Austrocknung zum Opfer fallen, vermögen die gegen zu starke Wasserabgabe geschützten Eihäufchen beim Eintritt feuchter Witterung die unterbrochene Entwicklung wieder aufzunehmen und zu beendigen. Auf diese Weise

vermag nach längerm Unterbruch in den verschiedenen Böden sich das tierische Leben (Enchytraeiden) wieder zu entwickeln, womit die Kräfte in bezug auf die Zersetzung organischer Stoffe, soweit sie eben durch die genannten Lebewesen unterhalten und gefördert wird, wieder ausgelöst werden.

Nach Einsichtnahme in die obwaltenden engen Beziehungen der Enchytraeiden zu der Bodenfeuchtigkeit ist es erklärlich, wenn wir in engbegrenzten Gebieten große Differenzen im zahlenmäßigen Auftreten der genannten Erdbewohner beobachten. Diesen mehr lokalen Schwankungen entsprechen dann ausgedehnte zusammenhängende Gebiete, die die Enchytraeiden in maximaler oder minimaler Bevölkerungsdichte besitzen. Das hängt einerseits mit dem Klima zusammen. Regenarme und starkbesonnte Gebiete werden nur spärlich bevölkert. Anderseits aber hängt die Erscheinung auch mit der Bodenart zusammen, und zwar in der Weise, daß weit ausgedehnte gleichartig zusammengesetzte Unterlagen die Verbrei-

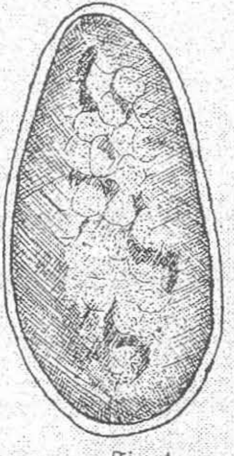




Fig. 4

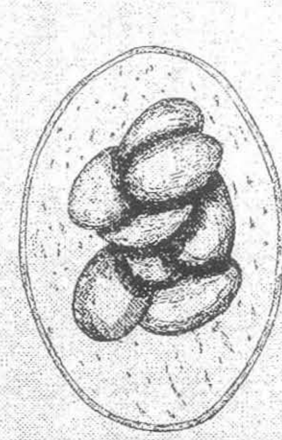


Fig. 5

tung zu fördern, resp. zu hindern vermögen. Im letztern Fall haben wir es durchwegs mit wenig kultivierten und mehr oder weniger ertragsarmen Böden zu tun. Es mag schon hier betont werden, daß diese Bodenarten größtenteils wenig Humus besitzen, und daß dessen Bildung zum Teil deshalb unterbleibt, weil sich das tierische Leben nicht zu entwickeln vermag.

Auch die Durchlüftung des Bodens ist für die Besiedlung eines Bodens durch Enchytraeiden von Bedeutung, indem in kompakten Böden wenig oder keine Würmer anzutreffen sind. Sofern eine geringe Besetzung nachgewiesen werden kann, läßt sich wahrnehmen, daß nur die oberflächlichsten Schichten bewohnt sind.

Diese Befunde sind von Bedeutung, weil sie uns über die Wirkung der Lebenstätigkeit der Enchytraeiden in der Erde Aufschluß geben. Es ist durch Versuche und Beobachtungen nachgewiesen, daß die in kompakten Böden an der Oberfläche vor sich gehende Umsetzung organischer Stoffe durch ein intensives tierisches Leben stark befördert wird. Wir dürfen also mit Sicherheit anehmen, daß gerade die Enchytraeiden in noch humusarmen Böden die Umsetzungen zum Teil einleiten und anderseits stark befördern, und damit sind sie imstande, die Ertragsfähigkeit eines Bodens zu steigern.

Im weitern ist bekannt, daß eine gute Durchlüftung für die Zersetzungsprozesse organischer Stoffe in der Erde von fundamentaler Bedeutung ist. Und wenn wir wahrnehmen, wie die unter normalen Verhältnissen in enormen Mengen

vorkommenden Enchytraeiden die oberflächlichen Schichten mit tausend und abertausend feinen Kanälchen durchziehen, so wird es klar, welch gewaltige Kräfte dadurch ausgelöst werden und welche Bedeutung infolgedessen diese winzigen Tiere für die Bodenproduktion haben.

Um die Abhängigkeit der reichlichen Vermehrung der Enchytraeiden von der Zusammensetzung der Erde zu erfahren, wurden verschiedene Versuche durchgeführt. Die dazu verwendete Erde wurde sterilisiert und in Töpfe abgefüllt. Jedem Versuchstopf wurde eine gleiche Menge Enchytraeiden beigesetzt, worauf man die Gefäße im Freien aufstellte, um die von außen einwirkenden natürlichen Faktoren möglichst wenig zu beeinflussen. Wir hatten folgende Gruppen gebildet:

1. Reine Gartenerde;
2. Gartenerde mit stark kiesiger Durchmischung;
3. Walderde;
4. Erde vom ertragreichen Wiesboden;
5. Gartenerde mit viel Pflanzenteilen durchmischt.

Von jeder Gruppe wurde ein Kontrolltopf ohne Enchytraeidenzusatz belassen. Die Versuche dauerten zirka vier Monate. Es ergaben sich folgende Resultate:

1. In reiner Gartenerde hielten sich die Enchytraeiden 2—3 Wochen ohne sichtbare Vermehrung. Nach dieser Zeit stellte sich ein starker Rückgang ein, so daß in der fünften Woche die Erde als frei von Enchytraeiden gelten konnte. Es mangelte den Würmern offenbar an zusagender Nahrung.

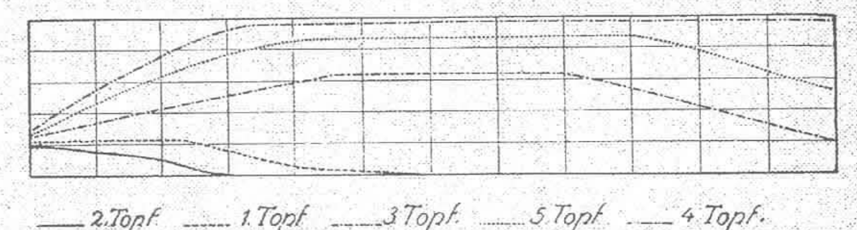
2. In der zweiten Gruppe, wo die Erde eine kiesige Beschaffenheit aufwies, konnte festgestellt werden, daß die Enchytraeiden schon nach 2—3 Wochen verschwanden. Zum Nahrungsmangel tritt hier noch rasche Austrocknung bei trockener Witterung.

3. In der Walderde, die nicht frei von pflanzlichen Bestandteilen ist, können sich die Würmer halten. Zunächst vermehren sie sich relativ stark; hierauf verbleiben sie eine Zeitlang auf gleicher Höhe, um schließlich mit Eintritt von Nahrungsmangel abzunehmen.

4. Ganz andere Verhältnisse bietet die Wiesboden. Hier setzt eine intensive Vermehrung bald ein, und im Verlaufe des Versuches kann von einem Rückgang kaum gesprochen werden.

5. Das Verhalten der Würmer ist ein ähnlicher wie in Gruppe 3. Nach Verfluß von acht Wochen zeigt es sich, daß die eingestreuten Pflanzenteile vollständig abgebaut sind. Von da ab tritt Nahrungsmangel ein, und die Individuenzahl nimmt ab.

Die beigefügten Kurven geben uns ein Bild über die Versuchsergebnisse.



—— 2. Topf ------ 1. Topf -----3 Topf ........ 5. Topf .—— 4 Topf.

Aus den beschriebenen Versuchen geht in erster Linie hervor, daß die Enchytraeiden an das Vorhandensein von pflanzlichen Stoffen gebunden sind. Wo keine solchen sich vorfinden, hört eine Vermehrungstätigkeit sehr bald auf. Dabei müssen wir hervorheben, daß es sich hauptsächlich um abgehende pflanzliche Stoffe handelt. Die Enchytraeiden dürfen in diesem Sinne nicht als Pflanzenschädlinge angesehen

werden. Für die Bearbeitung (Zerkleinerung) von Pflanzenteilen ist ihre Mundhöhle, wie Fig. 6, MH, zeigt, vorteilhaft eingerichtet. Die größern und kleinern Hervorragungen wirken wie kleine Zähnchen.

Wir haben im weitern gesehen, daß die Enchytraeiden durch ihre Tätigkeit an den Pflanzengeweben die Zersetzung einleiten. Dies geschieht, wie nachgewiesen werden kann, durch die Absonderung eines Sekretes aus den Speicheldrüsen Fig. 3 SpD. Es sind sackartige Organe, die ihre Sekrete in den hintern Teil der Mundhöhle ergießen. Indem die Würmer nun die pflanzlichen Gewebe benagen, gelangen die Drüsenabsonderungen ebenfalls mit ihnen in Berührung. Sie werden, wie wir gesehen haben, durch ihre Wirkung in eine schleimige Masse überführt, selbst die Nematodenkörper vermögen den Sekreten nicht zu widerstehen. Es ist

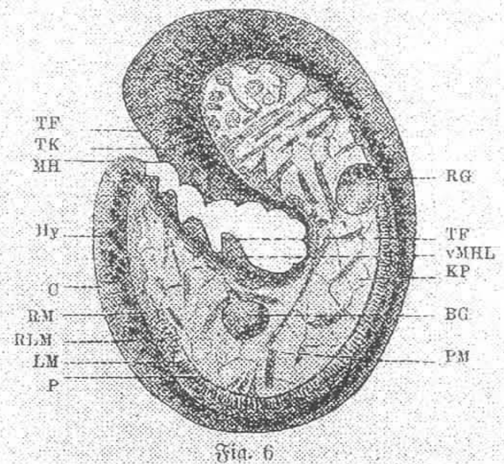



Fig. 6

einleuchtend, daß große Mengen von Enchytraeiden auf diese Weise im Boden die abgehenden pflanzlichen Organismen in weitgehendem Maße im Sinne einer Umsetzung beeinflussen, d. h., daß sie den Boden an für die wachsenden Pflanzen verwendbaren Stoffen stark bereichern. Die Tätigkeit der Enchytraeiden im Boden dürfte in bezug auf ihre Folgen für die Bodenproduktion deshalb diejenige der Regenwürmer mit Rücksicht auf die großen Bevölkerungszahlen übertreffen. Wir können also zusammenfassend feststellen:

Die Enchytraeiden spielen im Haushalte der Natur zweifellos eine wichtige Rolle, indem sie auf den Wiesboden einen entscheidenden Einfluß auszuüben vermögen. Wo sie zahlreich vertreten sind, ist eine intensive Umsetzung in den oberflächlichen Erdschichten gesichert, was mit andern Worten heißt, daß der Boden von Natur aus eine erhöhte Leistungsfähigkeit besitzt.

Wir sind gewohnt, die Qualität eines Bodens nach dem Gehalt an bestimmten Bestandteilen und Verbindungen zu bestimmen. Sobald wir aber darüber orientiert sind, welche Folgen die Lebenstätigkeit einer Tierform im Erdreich hat, wie im vorliegenden Fall, kann auch mit Sicherheit auf gewisse Qualitäten aus derem Vorhandensein, resp. Nichtvorhandensein geschlossen werden. Die lebende Substanz bildet, wie wir gesehen haben, ein außerordentlich feines Reagens, und wir besitzen deshalb gerade in solchen Faktoren für manche Fälle einen wichtigen und gut verwendbaren Maßstab für die Beurteilung eines Bodens. Die Bodenanalysen dürften unter Berücksichtigung solcher Faktoren an Sicherheit nur gewinnen.

Auf Grund der oben dargestellten Untersuchungsresultate scheint es klar zu sein, daß die Zahl der auf der Flächeneinheit vorhandenen Individuen auf den Zustand eines Bodens bis zu einem gewissen Grade einen Einfluß ausübt. Daß nun eine derartige sichtbare Beziehung zwischen der Ertragsfähigkeit eines Wiesbodens und der Anzahl der darin vorhandenen Enchytraeiden besteht, kann ohne weiteres nachgewiesen werden. Es wurden nach diesen Gesichtspunkten folgende Böden untersucht:

1. Tonboden; 2. Lehmboden; 3. lehmiger Sandboden; 4. Sandboden; 5. Humusboden.

Die nachstehende Tabelle gibt Aufschluß über das Zahlenverhältnis der in den genannten Böden in den verschiedenen Jahreszeiten gefundenen Würmer. Die Zahlen beziehen sich auf den Quadratmeter Bodenfläche. Dabei ist es wesentlich, daß bei den verschiedenen Bodenproben immer die gleichen Tiefen innegehalten wurden.

| Jahreszeit | Tonboden | Lehmboden | Lehmiger Sandboden | Sandboden | Humusboden |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. Frühling | vereinzelt | 60–160 | 2750—6400 | 6900—9000 | 30000—70000 |
| 2. Sommer | | | | | |
| a) Trocken | — | 28–75 | 1400—2300 | 2600—4900 | 11800—16000 |
| b) Feucht | — | 70—300 | 3000—7000 | 6500—8500 | 28000—50000 |
| 3. Herbst | vereinzelt | 100—450 | 5000—10000 | 7000—11000 | 60000—150000 |
| 4. Winter | — | 800—1600 | 2000–8000 | 6800—9400 | 50000—120000 |

Im Tonboden sind also durchwegs keine oder äußerst wenige Enchytraeiden vorhanden. Eine scharfe Grenze läßt sich natürlich nicht ziehen, schon deshalb nicht, weil die verschiedenen Böden nach ihrer Zusammensetzung selten rein zu finden sind. Wo die Durchmischung des Tonbodens an der Oberfläche mit organischen Umsatzprodukten wahrnehmbar zu werden beginnt, da erscheinen alsbald auch die Enchytraeiden, erst nur vereinzelt und an der Oberfläche, dann aber um so zahlreicher, je stärker die äußersten Schichten der Humusbildung zugänglich gemacht werden. Von hier schreitet der Prozeß nach der Tiefe zu fort, und im Laufe einer bestimmten Zeit ist der Tonboden, was Durchlüftung und Vermengung mit Zersetzungsprodukten betrifft, im günstigen Sinne umgewandelt.

Im Lehmboden mit seinen verschiedenen Variationen ist die Zahl der regelmäßig sich aufhaltenden Individuen noch eine relativ geringe, jedoch schon derart, daß eine Zersetzung organischer Stoffe durch sie deutlich zum Ausdruck gelangt. Daher tritt für die vorliegenden Fälle der Prozeß der Humusbildung etwas stärker in Erscheinung.

Die lehmigen Sandböden enthalten höhere Zahlen. Hier sind die Lebensbedingungen günstiger, besonders in bezug auf Durchlüftung.

Bedeutend reichlicher fanden wir die Enchytraeiden in leichten Sandböden. Diese sind in den Untersuchungsgebieten mit mehr Humuserde durchmischt.

An höchster Stelle, in bezug auf die Zahl der gefundenen Würmer, stehen die Humusböden. Darin sind die Bedingungen nach Nahrung und Durchlüftung am vollständigsten erfüllt.

Nach der Jahreszeit finden sich erhebliche Differenzen. Es läßt sich feststellen, daß im Sommer bei längerer Trockenheit die Bevölkerung zurückgeht, je nach dem Grad der Austrocknung. Die größten Zahlen finden sich im Herbst, Frühjahr und zum Teil im Winter, und demzufolge ist speziell der Wiesboden in diesen Jahreszeiten in bezug auf die Umwandlung organischer Stoffe in vollstem Fluß.

Der Prozeß der Humusbildung durch die Enchytraeiden kann durch einen

Versuch direkt zur Anschauung gebracht werden. Es wurden zu diesem Zwecke vier Töpfe mit sterilisierter Erde gefüllt, und zwar

1. mit reiner Sanderde;
2. Sanderde mit Pflanzenresten vermischt;
3. eine Lage Sanderde von zwei Rasenstücken eingefaßt;
4. reine Gartenerde.

Den ersten drei Töpfen wurden Mitte Mai gleich große Mengen Enchytraeiden beigesetzt.

Nach Verfluß von zwei Monaten wurde bei einer ersten Kontrolle folgendes festgestellt:

1. Das Gefäß mit reiner Sanderde enthält keine Enchytraeiden mehr. Sie sind abgestorben, da die der Ernährung dienenden pflanzlichen Stoffe fehlen.

2. Im zweiten und dritten Topf hat sich eine reiche Enchytraeidenfauna entwickelt, und zwar hauptsächlich an jenen Stellen, wo pflanzliche Stoffe vorhanden sind.

3. Im vierten Gefäß, das keine Enchytraeiden zugesetzt erhielt, ist nach keiner Richtung hin eine Veränderung eingetreten.

Eine zweite Untersuchung wurde nach weitern zwei Monaten vorgenommen. Dabei konnte wahrgenommen werden, daß der Prozeß der Humusbildung in den Töpfen 2 und 3 deutlich sichtbar wurde, und die Zahl der stellenweise wirkenden Würmer ist eine enorme. Die Zersetzung der vorhandenen Pflanzen ist zu einem erheblichen Teile schon durchgeführt, und da die Erde beim Ausgange des Versuches sterilisiert wurde, d. h. frei von jeglichem tierischen und pilzlichen Leben war, so muß der ganze Prozeß von den zugesetzten Enchytraeiden ausgegangen sein. Das beweist auch der vierte Topf, wo ohne eine Infektion sich absolut keine Veränderung beobachten läßt. Es ist nun klar, daß sich nachträglich eine Welt von Kleinlebewesen ansiedelt und fördernd in den Vorgang eingreift. Auch wird es in der Natur nie vorkommen, daß die Enchytraeiden allein die Humusbildung, d. h. die Umsetzung organischer Stoffe, einleiten oder zum Teil durchführen. Diese Tatsachen vermögen indessen die Bedeutung der Enchytraeiden bei der Humusbildung in keiner Weise zu beeinträchtigen. Die Untersuchungen im Oktober und November haben uns dann gezeigt, daß die Erde in den Töpfen 2 und 3 vollständig mit den umgearbeiteten pflanzlichen Bestandteilen durchsetzt ist, während der vierte Topf auch jetzt noch keine wesentlichen Veränderungen zeigt, trotzdem pflanzliche Stoffe zur Umarbeitung auch vorhanden sind.

Das Resultat dieser Versuche besteht also darin, gezeigt zu haben, daß es versuchsweise gelingt, durch Beigabe von Enchytraeiden den Prozeß der Humusbildung einzuleiten.

Inwieweit sich die besprochenen biologischen Verhalten der Würmer für die Praxis verwerten lassen, muß noch durch erweiterte Versuche in den verschiedensten Böden untersucht werden. Es ist dem Landwirt zwar schon längst bekannt, daß sogenannte Komposterde einen anregenden Dünger darstellt. Eine Untersuchung solchen Materials hat ergeben, daß gewaltige Mengen von Enchytraeiden darin leben. Es liegt nun auf der Hand, daß diese, auf einen noch humusarmen Wiesboden verbracht, einen günstigen Einfluß ausüben, und zwar um so intensiver, je stärker sie sich zu vermehren vermögen.

Es unterliegt keinem Zweifel, daß das Studium des Tierlebens im Erdreich nach biologischen Gesichtspunkten noch Manches auffinden wird, das, in den Dienst unserer Bodenbebauung gestellt, vorteilhaft wirken wird; denn es ist auch in diesen Fällen von Bedeutung, wenn wir die natürlichen Faktoren nach allen Richtungen hin heranziehen, weil sie in der Natur am nachhaltigsten wirken.